

APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA EM ONDELETAS À ANÁLISE DE SÉRIE TEMPORAL REFERENTE AO NÍVEL DO RIO PARAGUAI EM LADÁRIO, MS.

Leonardo D. A. Sá, Sabrina B. M. Sambatti (*) e Geraldo P. Galvão.

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais C.P.515, CEP 12201-970, São José dos Campos, SP, Brasil; e-mail: leo@met.inpe.br

(*)Bolsista do CNPq/RHAE

Palavras-chave: Wavelet, Nível do Rio Paraguai, Variabilidade.

METODOLOGIA:

Tem sido demonstrado que a Análise de Fourier (AF) tradicional não é recomendável na investigação de fenômenos não estacionários ou naqueles em que o sinal sofre variações bruscas (Farge, 1992). A Transformada em Ondeletas (TO), cuja base matemática foi constituída recentemente (Meyer, 1991), parece oferecer uma alternativa vantajosa à AF nestas situações. Ela decompõe a informação contida na série temporal tanto em tempo quanto em escala (frequência). Assim, pode ser concebida como uma espécie de Transformada de Fourier evolutiva. A TO contínua consiste no operador de convolução com funções básicas:

$$g_{ab}(t) = a^{-1/2} g\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

obtidas por translações e dilatações de uma única função $g(t)$, a ondeleta-mãe. A TO analisa um sinal $s(t)$ em cada instante t sobre um intervalo de escala a pela convolução deste com uma ondeleta localizada, $g(t)$, a qual estará dilatada em função da escala em questão. Segundo Farge(1992), o coeficiente da TO é definido por:

$$T_g(a, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} g_{at}\left(\frac{t-y}{a}\right) s(y) dy \quad (2)$$

Neste trabalho optou-se pela utilização da ondeleta complexa de Morlet de forma

$$g(t) = e^{-i\omega_0 t} e^{-t^2/2}, \quad \omega_0 = 5.4 \quad (3)$$

a qual constitui uma onda plana de frequência ω_0 modulada por envelope gaussiano de largura unitária.

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

Foi utilizada a ondeleta complexa de Morlet por ser esta a mais adequada para captar variações nas periodicidades do sinal geofísico, de maneira contínua ao longo das escalas (Weng e Lau, 1994). Uma das principais vantagens da utilização da TO resulta do fato de esta fornecer uma representação do sinal facilmente interpretável visualmente (Grossmann et al., 1989). Tendo em vista isto, representamos a parte real do coeficiente da ondeleta, a qual é capaz de descrever tanto a intensidade quanto a fase do sinal, em localizações específicas do domínio tempo-frequência (Weng e Lau, 1994), respeitadas as restrições impostas pelo Princípio da Incerteza de Heisenberg.

Assim, na figura 1(a) é apresentada a variação da cota do Rio Paraguai para o período de 1900 a 1995 (os valores negativos refletem o fato de o nível nulo não se referir ao nível mais baixo do rio). Na figura 1(b) são mostradas as intensidades das flutuações por escala, referentes ao sinal da figura 1(a), para uma resolução de escala inferior a trinta anos. A observação da figura 1(b) mostra: (a) uma escala marcante correspondente ao ciclo anual;

(b) uma outra com flutuações cuja periodicidade variou de um valor acima de quatro anos no início do século até um valor de três anos ao final dos anos 30, quando então passou a haver flutuação tanto na escala de dois anos quanto na de quatro até 1950. Desde então, a intensidade das flutuações no intervalo de escalas de dois a quatro anos parece ter diminuído consideravelmente, embora ainda seja perceptível uma flutuação na escala de dois anos até 1965. É interessante salientar que Nobre et al. (1984), ao estudarem a variabilidade das cotas do Rio Negro, em Manaus, por meio da AF aplicada a dois segmentos amostrais sucessivos, também encontraram marcantes diferenças entre o padrão de variabilidade deste rio antes de 1950 e após este ano. Para eles, não deveria existir uma relação direta entre a oscilação quase-bienal dos ventos zonais da estratosfera e a variabilidade do Rio Negro na escala de 28 meses. Esta conclusão também parece válida para os nossos resultados. Pesquisas futuras devem ser efetuadas no sentido de verificar se um mesmo fenômeno geofísico de grande escala não seria o responsável pelos resultados similares encontrados para os rios Negro e Paraguai. Outros fenômenos geofísicos, igualmente, mostram diferenças entre seus padrões de variabilidade do início do século até 1950 e deste ano em diante. Isto é apontado por Gu e Philander (1995) que aplicaram a TO a dados atmosféricos e oceânicos (COADS) referentes ao período de 1870-1988. Eles detectaram variações de amplitude de outro fenômeno atmosférico, o El Niño/Oscilação Sul (ENSO) o qual foi fraco no período de 1915-1950 e se fortaleceu marcadamente nos anos subsequentes. Assim, novos estudos devem ser efetuados no sentido de detectar eventuais correlações entre os fenômenos mencionados acima;

(c) uma flutuação aproximadamente decadal que varia de aproximadamente 11 anos no início da análise e que diminui até se estabilizar num patamar da ordem de 10 anos, a partir de 1940. Currie e O'Brien (1988) relatam muitos fenômenos geofísicos que também apresentam periodicidades desta ordem e tentam estabelecer uma relação destes com o ciclo solar de 10-11 anos. A questão de explicar fisicamente esta correlação continua, contudo, em aberto.

AGRADECIMENTOS:

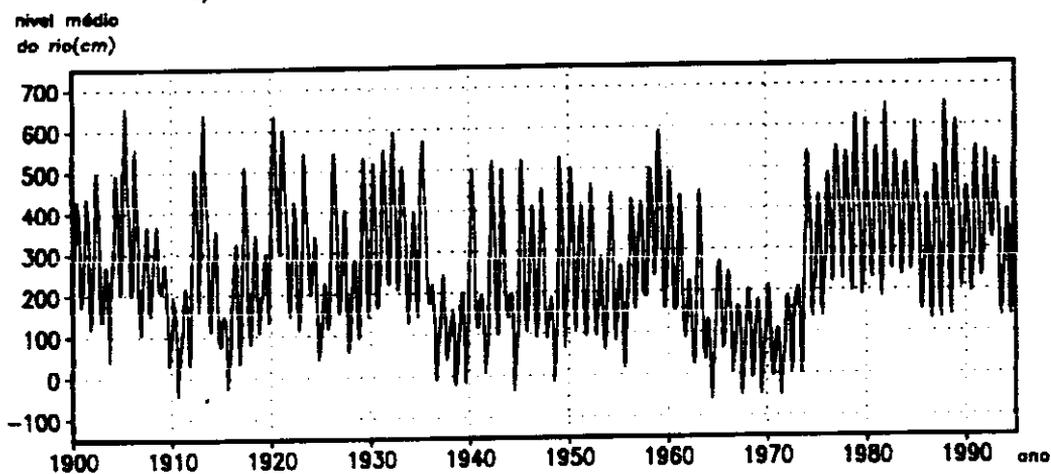
Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPESP (processo nº 93/2715-1) e pelo CNPq-RHAE, sob contrato nº 610197/94-0. Os autores são igualmente gratos à EMBRAPA que forneceu gentilmente os dados utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Currie, R. G. and O'Brien, D., 1988. "Periodic 18.6-year and cyclic 10 to 11 year signals in Northeastern United States precipitation data". *J. Climatol.* 8(3):255-281.
- Farge, M., 1992. "Wavelet transforms and their applications to turbulence". *Annu. Rev. Fluid Mech.* 24: 395-457.
- Grossmann, A.; Kronland-Martinet, R.; Morlet, J., 1989. "Reading and Understanding Continuous Wavelet Transforms". In: *Wavelets*. J.M. Combes, A. Grossmann, Ph. Tchamitchian Eds..Springer-Verlag. pp.2-20.
- Gu, D. and Philander, S.G.H., 1995. "Secular Changes of Annual and Interannual Variability in the Tropics during the Past Century". *J. Climate*. 8(4): 864-876.
- Meyer, Y, 1991. "Ondelettes et opérateurs". Hermann, Paris.
- Nobre, C. A.; Paião, L. B. F. C.; Amendola, M., 1984. "Análise espectral das cotas do Rio Negro em Manaus". Relatório Técnico. INPE-3365-PRE/642.
- Weng, H. and Lau, K.-M., 1994. "Wavelets. Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific". *J. Atmos. Sci.* 51(17): 2523-2541.

FIGURA 1. ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO NÍVEL DO RIO PARAGUAI
OBTIDA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA EM ONDELETAS.

a) NÍVEL MÉDIO DO RIO PARAGUAI MEDIDO EM LADÁRIO, MS.



b) ANÁLISE DA VARIABILIDADE EM TEMPO-ESCALA.

